

Kilpeläinen Tomi

# Kokemuksia simulointiohjelman käytöstä teollisuusympäristössä

Opinnäytetyö  
Talotekniikan ko.


Huhtikuu 2013




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

*Mikkeli University of Applied Sciences*

# KUVAILEHTI

		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 23.04.2013	
<b>Tekijä(t)</b> Tomi Kilpeläinen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikan koulutusohjelma	
<b>Nimeke</b> Kokemuksia simulointiohjelman käytöstä teollisuusympäristössä			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Ida Ice olosuhde- ja energiasimulointiohjelman soveltuvuutta elintarviketeollisuuteen. Tavallisesti kyseistä simulointiohjelmalla on totuttu käyttämään tavanomaisessa asumis-, toimisto- ja liikerakentamisessa.</p> <p>Elintarviketeollisuudessa käytetään paljon energiaa prosesseihin, joista tulee tiloihin isoja lämpökuormia tiloihin. Myös eri tilojen lämpötilavaatimukset poikkeavat normaaleista asunto-, toimisto- ja liikerakennuksista. Tämä asettaa suunnittelulle enemmän vaatimuksia, jotta saavutetaan halutut olosuhteet ja tavoitteet rakennuksen energiakäyttämiseksi.</p> <p>Suunnitteluvaiheessa voidaan simuloimalla vertailla erilaisten rakenteiden, ikkunoiden ja ovien vaikutuksia energiankulutukseen. Rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana rakennuksen käyttäjä voi simuloida vertailla erilaisia käyttöstrategioita (ilmastointikoneen käyntiajat, sisäänpuhalluslämpötilat ym.) keskenään ja arvioida erilaisten toimien vaikutuksia. Tällöin energiasimulointi työkalun avulla voidaan arvioida eri energiamuotojen tavoitekulutukset.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Energia, teollisuus, simulointi, E-luku			
<b>Sivumäärä</b> 36	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Aki Valkeapää		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> RE-suunnittelu Oy	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  23.04.2013	
<b>Author(s)</b> Tomi Kilpeläinen		<b>Degree programme and option</b> Building services engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Experience of using the simulation tool in an industrial environment			
<b>Abstract</b>  <p>The purpose on my thesis was to investigate the suitability of building energy simulation tool using in food industry. Usually the IDA ICE simulation program is used to use in ordinary housing, offices and buildings.</p> <p>The food industry uses a lot of energy to the production process, which are causing large heat loads to the rooms. Also in food industry there are different temperature requirements than in ordinary dwelling house. In order to achieve wanted conditions and targets there are more requirements for the planning.</p> <p>During the planning of building we can use simulation tool to compare different structures, windows and doors effect to the energy consumption. During the lifetime of the building the user can simulate to compare different using strategy of building. For example effect of different running time on air conditioning unit or different temperatures of supply air. In this case the energy simulation tool can be used to evaluate the different forms of energy consumption targets.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Energy, industry, simulation, E-value			
<b>Pages</b>  36	<b>Language</b>  English	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Aki Valkeapää		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> RE-suunnittelu Oy	

# SISÄLTÖ

JOHDANTO.....	1
1 RAKENNESUUNNITTELU JA ENERGIA.....	3
1.1 Rakennesuunnittelun yleisperiaatteet .....	3
1.2 Kylmäsillat.....	3
1.3 Rakennusvaipan ilmanpitävyys D3 & D5 mukaan.....	3
1.4 Vaipan vuotoilma teollisuusrakennuksessa .....	5
1.5 Lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointijärjestelmät .....	6
1.6 Tilojen jäähdytys ja lämmitys.....	7
1.7 Energiatehokkuuden vaatimukset, E-luku .....	7
1.8 Energian loppukäyttö.....	9
1.9 Rakennuksen elinkaari ja energiakustannukset .....	9
1.10 Kesäajan huonelämpötilan hallinta.....	10
2 ELINTARVIKETEOLLISUUSKOHTIEN TIETOJA .....	11
2.1 Tehdasrakennuksen tilat ja rakenneratkaisut .....	11
2.1.1 Rakennuksen vaipan lämmöneristävyys .....	12
2.1.2 Hygienia.....	12
2.2 Sisäilma ja tavoitteet.....	13
2.3 Lämpökuormat.....	14
3 OLOSUHDE- JA ENERGIASIMULOINTI OHJELMAN KÄYTTÖ.....	15
3.1 Simulointityökalun käyttö suunnittelussa.....	15
3.2 Talotekniikan analyysit.....	16
3.3 Sisäilmaston olosuhdesimuloinnit .....	17
3.4 Energiasimuloinnit.....	18
4 ENERGIA-ANALYYSIT JA OHJELMAT .....	18
4.1 Vaatimukset ohjelmille .....	18
4.2 IDA ICE olosuhde- ja energiasimulointiohjelma .....	19
4.3 Rakennuksen geometrisen mallin luominen.....	19
4.4 IFC-tiedostonsiirto .....	21
4.5 Rakennuksen geometria ja vyöhykkeet IFC-mallin kautta.....	21
4.5.1 MagiCAD Room IFC-malli .....	21
4.5.2 Autodesk Revit IFC malli .....	22

4.6	Rakennuksen vyöhykkeet .....	24
4.7	Rakenteiden määrittely .....	24
4.8	Ikkunoiden, ovien ja aukotuksien määrittely .....	25
4.9	Rakennuksen suuntaus ja varjostus .....	26
4.10	Sijainti ja sää.....	27
4.11	Ilmanvaihto ja vuotoilma.....	27
4.12	Lämpökuormat.....	27
4.13	Muita asetuksia .....	28
4.14	Laskentaesimerkkejä.....	28
5	TULOKSET JA POHDINTA .....	31
	LÄHTEET .....	35

## JOHDANTO

Rakennuksen lämpötekniistä simulointia voidaan hyödyntää rakennuksen koko elinkaaren aikana. Suunnittelun alkuvaiheessa tehdään merkittävimmät energiankulutukseen ja investointikustannuksiin vaikuttavat ratkaisut. Luonnos- ja toteutussuunnittelussa simulointiohjelmia voidaan käyttää yksittäisen huoneen jäähdytys- tai lämmitystarpeen ja koko rakennuksen lämmitysenergian tavoitekulutuksen laskentaan. Lisäksi näissä vaiheissa voidaan tarkistaa rakennuksen eri järjestelmien mitoitus ja laitevalinnat sekä etsiä kokonaisuuden toimivuuden kannalta parhaat säätöparametrit ja tarkastella kokonaisuuden energianhallintaa. [3.]

Rakennuksen käytön ja ylläpidon aikana rakennuksen käyttäjä voi simuloimalla vertailla erilaisia käyttöstrategioita (ilmastointikoneen käyntiajat, sisäänpuhalluslämpötilat ym.) keskenään ja arvioida erilaisten saneeraustoimien vaikutuksia. Tällöin energiasimulointi työkalun avulla voidaan arvioida eri energiamuotojen tavoitekulutukset. [3.]

Opinnäytetyössä tutkitaan IDA ICE-olosuhde- ja energiasimulointiohjelman käyttöä ja soveltuvuutta suureen elintarviketeollisuuskohteeseen. Jatkuvasti tiukentuneet energiamääräykset ja kallistuva energian ostohinta ajaa suunnittelemaan parempaan energiatehokkuuteen. Nykyiset määräykset (Rakennusten energiatehokkuus D3) vaativat E-luvun (rakennuksen kokonaisenergian kulutus) laskemista myös käyttötarkoituusluokan 9 rakennuksille (tässä tapauksessa teollisuusrakennus), mutta E-luvulle ei aseteta vaatimusta. Simulointiohjelmaa pyritään hyödyntämään E-luvun laskemisessa sekä rakennus- ja lvi-tekniillisissä sovelluksissa vertailemalla erilaisia ratkaisuja energiankäytön kannalta ja saamaan näin hyötyä suunnittelun eri vaiheisiin.

Opinnäytetyössä on tavoitteena työn suorituksen ja oppimisprosessin kannalta suorittaa olosuhdesimuloinnit kaikille tehtaan tiloille sekä laskea rakennuksen määräysten mukainen energiankäyttö pinta-alaa kohden eli E-luku. Tämä on kohtuullisen työläs prosessi ohjelman käytön kannalta, koska tiloja on paljon ja tämä alkaa näkyä ohjelman laskentaprosessin hidastumisena tai laskennan epäonnistumisella. Lisäksi pyritään simuloimaan tehtaan prosessin tuomia lämpökuormia ja todentaa, riittävätkö ne

rakennuksen lämpötilan ylläpitoon lämmityskaudella. Tavoitteena on myös tehdä simuloitteja kylmävarastointitiloille ja verrata kylmälaitteiden mitoitus-tehoja olemassa oleviin laskelmiin. Selvennykseksi mainittakoon, että käyttäjän toimesta aiheutuvat prosessin käyttämät energiat eivät kuulu tämän työn tarkasteluun, paitsi niiden tuottamien lämpökuormien osalta.

IDA ICE on ruotsalais-suomalaisena yhteistyönä kehitetty uuden sukupolven rakennusten lämpösimulointiohjelmisto. Sen avulla voidaan laskea sisäilmaston tila (mm. lämpöolot, ilman laatu ja suhteellinen kosteus), mitoittaa lämmitys- ja jäähdytystehontarpeet ja simuloida valitun ratkaisun energiankulutus. [7.]

# **1 RAKENNESUUNNITTELU JA ENERGIA**

## **1.1 Rakennesuunnittelun yleisperiaatteet**

Rakennussuunnittelun lähtökohtana ovat mm. rakennusvaiheen alussa määrittelyt energiatehokkuuden ja sisäilman laadun tavoitteet ja vaatimukset. Näiden toteuttaminen tapahtuu arkkitehtisuunnittelun, rakennetekniikan ja talotekniikan suunnittelijoiden yhteistyönä myös yksityiskohtaisen suunnittelun vaiheessa. Energiatehokkuuden vaatimukset voidaan detaljitasolla määritellä ja niiden täyttyminen todentaa käyttämällä soveltuvia rakennuksen energiankulutuksen laskentamenetelmiä ja ohjelmia. [1, s.146.]

## **1.2 Kylmäsillat**

Kylmäsiltojen suhteellinen vaikutus rakenteen lämpöhäviöön kasvaa, kun rakenteen lämmöneristävyys paranee. Kylmäsiltojen vaikutus voi haitata oleellisesti rakenteen toimintaa. Kylmäsillat aiheuttavat alhaisia pintalämpötiloja tyypillisesti rakenteiden nurkkiin. Alentuneet pintalämpötilat voivat lisäksi aiheuttaa kosteuden tiivistymistä ja homeenmuodostusta rakenteisiin ja niiden pintoihin. [1, s.150-151.]

Hygieniasiat ovat elintarviketeollisuudessa merkittävä tekijä, eikä tällöin ole varaa virheisiin, joissa pinnoille taikka rakenteisiin muodostuu hometta. Teollisuusrakennuksissa käytetään usein elementtejä, ja niistä rakennettu seinä ei sisällä viivamaisia kylmäsiltoja elementtien liitoskohdissa. Viivamaisia kylmäsiltoja aiheutuu teollisuusrakennuksessa palkeista ja pilareista, jotka sijaitsevat etenkin kylmän ja lämpimän tilan välillä.

## **1.3 Rakennusvaipan ilmanpitävyys D3 & D5 mukaan**

Sekä rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmanvirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä raken-



nustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku. [4]

Rakennusvaipan ilmanvuotolukuna  $q_{50}$  voidaan käyttää lämmitysenergian tarpeenlaskennassa arvoa  $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , ellei ilmanpitävyyttä tunneta. Rakennusvaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  voidaan laskea ilmanvuotoluvusta  $n_{50}$  kaavalla. [6]

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{\text{vaippa}}} * V$$

$q_{50}$	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$
$n_{50}$	rakennuksen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
$V$	rakennuksen tilavuus, $\text{m}^3$
$A_{\text{vaippa}}$	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), $\text{m}^2$ .

Rakennuksen vuotoilmakertoimen voidaan käyttää lämmitysenergian tarpeenlaskennassa arvoa 0,16 1/h, ellei ilmanpitävyyttä tunneta taikka osoiteta mittaamalla. Tämä vastaa rakennuksen vaipan ilmatiiviyttä kuvaavaa ilmanvuotolukua  $n_{50} = 4$  1/h. Taulukossa 1 on D5 mukaisia tyypillisiä ilmanvuotolukuja.

# **TAULUKKO 1. Tyypillisiä rakennuksen ilmanvuotolukuja ( $n_{50}$ ) ja rakennusvaipan ilmanvuotolukuja ( $q_{50}$ ) erilaisille rakennuksille riippuen rakentamis- ja toteutustavasta [6]**

*Taulukko 3.6. Tyypillisiä rakennuksen ilmanvuotolukuja ( $n_{50}$ ) ja rakennusvaipan ilmanvuotolukuja ( $q_{50}$ ) erilaisille rakennuksille riippuen rakentamis- ja toteutustavasta.*

Tavoiteilmanpiti- vyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset $n_{50}$ -luvut, 1/h	Tyypilliset $q_{50}$ -luvut, $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalo 1,0 – 3,0  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 0,5 – 1,5	Pientalot 1,0 – 3,0  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0 – 4,0
Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 3,0 – 5,0  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,5 – 3,0	Pientalot 3,0 – 5,0  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0 – 8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalo 5,0 – 10,0  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 3,0 – 7,0	Pientalot 5,0 – 10  Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0 – 20,0

## 1.4 Vaipan vuotoilma teollisuusrakennuksessa

Rakennuksen vuotoilmanvaihto vaihtelee rakennuskohtaisesti. Vaikuttavia tekijöitä ovat mm:

- ovien lukumäärä, rakenne, aukioloajat, sijainti
- ikkunoiden lukumäärä, pinta-ala
- rakennuksen korkeus
- koneellisen ilmanvaihdon aiheuttama alipaine.

$n_v$  vuotoilman vaihtuvuus (1/h)

$V$  rakennustilavuus

**TAULUKKO 2. Vuotoilman arviointiperusteita [17]**

	Vuotoilmanvaihto $n_v$ , 1/h		
	0,1...0,3	0,3...0,5	0,5...1,0
Kuutiotilavuus teollisuus- ovien lukumäärää kohti	> 3000 m <sup>3</sup> /kpl	1000 - 3000 m <sup>3</sup> /kpl	< 1000 m <sup>3</sup> /kpl
Oven rakennetyyppi ja kunto	tiivis		hatara
Oven ohjausjärjestelmä	radio-ohjaus	moottori- käyttöinen	käsiaukaisu
Oven käyttö	1-2 krt/pv	2-10 krt/pv	> 10 krt/pv
Apurakenteet	suikaleverho	ilmaverho	-

Esimerkki teollisuushallin lämpöhäviöistä:

Kohteen tiedot:

- Energian hinta 60 € MWh
- Rakennusvuosi 1980, Helsinki
- Käyttö kahdessa vuorossa 4000 h
- Pinta-ala / tilavuus 3000 m<sup>2</sup> / 18 000m<sup>3</sup>
- Kevytöljykattilalaitoksen vuosihyötysuhde 85 %
- Vuotoilma: 0,2 1/h
- Tulo- ja poistoilmavirta: 5,0/5,1 m<sup>3</sup>/s
- Sisälämpötila 21 °C

- Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde 45 %
- U-arvot:
  - Ulkoseinä 0,3 W/m<sup>2</sup> K
  - Yläpohja 0,21 W/m<sup>2</sup> K
  - Alapohja 0,71 W/m<sup>2</sup> K
  - Ikkunat ja ovet 2,0 W/m<sup>2</sup> K

Puolittamalla esimerkkirakennuksen vuotoilmavirta vähenee ostetun lämpöenergian määrä 15 % ja säästö on noin 6000 € vuodessa. Kun rakenteiden lämmöneristävyyttä parannetaan vuoden 2011 rakentamismääräystasoon, vähenee ostoenergian tarve 20 % ja säästö on yli 8000 € vuodessa.

Alkuperäisillä ratkaisulla ostetun lämpöenergian tarve on 223 kWh/m<sup>2</sup>. Kahdenkymmenen prosentin säästö vaipan johtumislämpöhäviöistä pienentää lämpöenergian tarpeen 178 kWh/m<sup>2</sup>. Tämä tarkoittaisi noin yhdeksän omakotitalon verran kuluttamaa energiamäärää, jos 120 m<sup>2</sup> omakotitalon kulutuksena pidetään 125 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa.

Edellä mainittua esimerkkiä lämpöhäviöiden parantamisesta voitaisiin soveltaa vanhoihin olemassa oleviin elintarviketeollisuusrakennuksiin. Uusissa rakennuksissa käytetään jo niin hyviä rakenteita, ettei niitä parantamalla saada vastaavia hyötyjä. Teollisuuskohteessa suurimmat säästöt energiankulutuksesta voidaan tehdä prosessin kuluttamasta energiasta.

### 1.5 Lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointijärjestelmät

Lämmitys, ilmanvaihto ja ilmastointijärjestelmät muodostuvat lämmitys- ja jäähdytyslaitteista, pumpuista, tuulettimista, putkistoverkoista, jäähdyttäjistä ja lämmönsiirtimistä. Kyseisissä järjestelmissä on keskeistä lämmön siirtäminen tai vastaanottaminen ympäristöstä tai prosessista. Ilmanvaihtojärjestelmien on arvioitu kuluttavan noin 10 % teollisuusyrityksien sähkölukutuksesta. Energiankulutus voi olla tätäkin merkittävämpi kohteessa, jossa on ilmanvaihdon lisäksi myös ilmastointi. [18]

## 1.6 Tilojen jäähdytys ja lämmitys

Huoneiden ja erilaisten tilojen jäähdytys- ja lämmitystarpeet vaihtelevat huomattavasti jo Euroopan sisällä riippuen sijainnista ja toimialasta. Jäähdytystä ja lämmitystä tarvitaan muun muassa miellyttävien työskentelyolosuhteiden luomiseksi, tuotteiden säilyvyyden varmistamiseksi ja erilaisten raakamateriaalien varastoimiseksi. [18]

Teollisuudessa usein lämmitetään tai jäähdytetään tiloja muutaman asteen sisällä liikaa taikka liian vähän. Useimmiten 1-2 asteen lämpötilan pudotus lämmityskaudella tai lämpötilan nousu kesällä ei oleellisesti huononna oloja, lukuun ottamatta esimerkiksi tarkemmin määriteltyjä elintarviketeollisuuden kylmävarastointitiloja. Prosesseista aiheutuvien lämpökuormien hyödyntämisessä piileekin energiansäästöjen mahdollisuus. Mielenkiintoiseksi asian tekee myös kohteen sijainti, on eri asia tutkia kylmävaraston lämpökäyttäytymistä Suomen talviolosuhteissa verrattuna Keski-Euroopan leutoihin talviin.

Energiankulutukseen lämmityksen ja jäähdytyksen osalta voidaan vaikuttaa seuraavasti:

- parantamalla tilojen eristystä
- energiatehokkailla lasitusratkaisuilla
- ilman sisäänoton pienentämisellä
- automaattisilla oviensulkijoilla
- ilman kerrostuneisuuden vähentämisellä
- vähentämällä lämmitystä silloin, kun sille ei ole tarvetta
- pienentämällä jäähdytyksen ja lämmityksen energiantarvetta asetusarvoja muuttamalla
- hyödyntämällä lämmön talteenottoa ja hukkalämpöä
- lämpöpumpuilla.

## 1.7 Energiatehokkuuden vaatimukset, E-luku

Rakennusta suunniteltaessa on laadittava energiaselvitys. Energiaselvitys on päivitettävä ja pääsuunnittelijan on varmennettava se ennen rakennuksen käyttöönottoa.[4]

Energiaselvitys sisältää yleensä seuraavat tarkastelut:

- rakennuksen kokonaisenergian kulutus (E-luku)
- energialaskennan lähtötiedot ja tulokset
- kesäaikainen huonelämpötila ja tarvittaessa jäähdytysteho
- rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus
- rakennuksen lämmitysteho mitoitusilanteessa
- rakennuksen energiatodistus.

E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vuotuinen ostoenergiankulutus rakennustyyppin standardikäytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku saadaan laskemalla yhteen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain.[4]

Energiamuotojen kertoimet ovat seuraavat:

- |  |     |
|--|-----|
| - sähkö  | 1,7 |
| - kaukolämpö   | 0,7 |
| - kaukojäähdytys                                       | 0,4 |
| - fossiiliset polttoaineet                             | 1,0 |
| - rakennuksessa käytettävät<br>uusiutuvat polttoaineet | 0,5 |

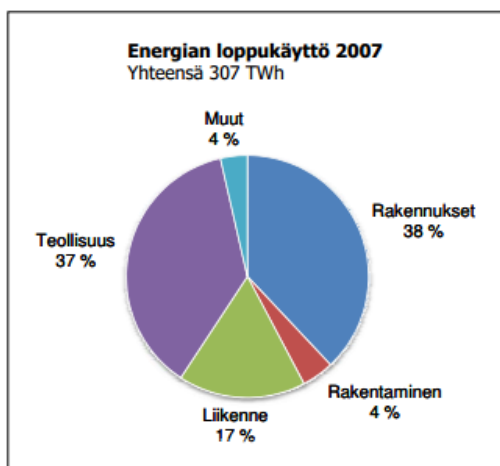
Kokonaisenergiatarkastelu mahdollistaa kokonaisvaltaisen suunnittelun, jossa rakennuksen energiatehokkuutta voidaan parantaa mm:

- rakennuksen massoittelulla, aukotuksilla ja aurinkosuojilla
- ohjattavien teknisten järjestelmien avulla
- uusiutuvalla/omavaraisella energialla ja energiamuodon valinnalla
- kylmäsiltojen minimoinnilla [5].

E-lukua laskettaessa uusiutuva omavaraisenergia ei ole ostoenergiaa, vaan se vähentää ostoenergian kulutusta. Energiamuotojen kertoimia käytetään ainoastaan ostoenergialle.[4]

## 1.8 Energian loppukäyttö

Energian loppukäytöllä tarkoitetaan energiaa, joka rakennuksiin ostetaan. Energian loppukäyttö ei pidä sisällään energian tuotannon, siirron ja jakelun häviöitä, eikä kiinteistökohtaisesti tuotettua uusiutuvaa energiaa. Energian loppukäyttö Suomessa vuonna 2007 oli 307 TWh. Sektorit ja niiden osuudet energian loppukäytöstä vuonna 2007 on esitetty kuvassa 1. Rakennetun ympäristön energiankulutuksesta rakennusten osuus 38 % ja liikenteen 17 %. Rakentamisen osuus on suhteellisen pieni 4 %. Muu energian

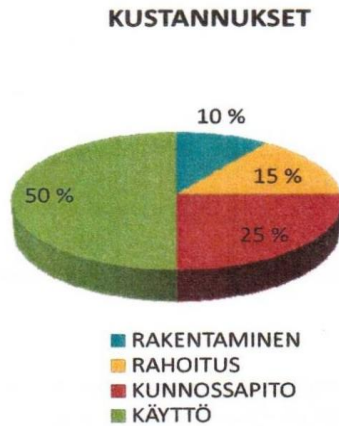


loppukäyttö on pääasiassa teollisuuden kulutusta 37 % ja vähäisissä määrissä muuta energian loppukäyttöä 4 %.

**KUVA 1. Energian loppukäyttö jaettuna sektoreittain [16]**

## 1.9 Rakennuksen elinkaari ja energiakustannukset

Rakennuksen elinkaari tapauksesta riippuen voi olla esimerkiksi 50 vuotta. Näin pitkällä ajanjaksolla merkittävimmät kustannukset koituvat rakennuksen käytöstä. Suunnittelun yhteydessä huomioiduilla ratkaisuilla on suuri vaikutus esim. rakennuksen energiakustannuksiin. Kiinteistön käytön kustannukset ovat noin puolet kiinteistön kaikista kustannuksista ja energiakustannusten osuus kiinteistönhoitokustannuksista on yleensä puolet.



**KUVA 2. Rakennuksen kustannukset [16]**

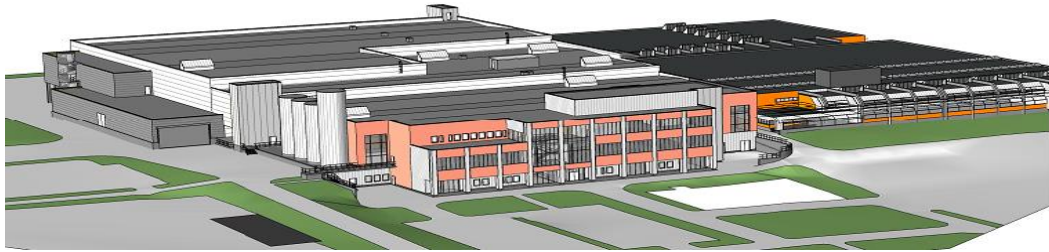
### 1.10 Kesäajan huonelämpötilan hallinta

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että tilat eivät lämpene haitallisesti. Tilojen ylikuumenemisen estämiseksi käytetään ensisijaisesti rakenteellisia ja muita passiivisia keinoja sekä yöllä tehostettua ilmanvaihtoa. Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksen täyttämiseksi voi olla tarpeen jäähdytysjärjestelmän käyttäminen, jolloin kokonaisenergiankulutukseen sisällytetään jäähdytysjärjestelmän energiankulutus. [4]

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 edellyttää myös kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittamisen eri tilatyyppeiden lämpötilalaskennalla. Laskelmat tulee tehdä tiloille, joissa esiintyy eniten lämpökuormia. Edellä mainitut laskelmat tulee tehdä käyttötarkoituseroittain 2-8 kuuluvissa rakennuksissa. Opinnäytetyössä tutkitaan pääasiassa teollisuusrakennuskohdetta, joka kuuluu käyttötarkoituseroittain 9, jossa ei määräysten mukaisesti tarvitse laskea kesäajan huonelämpötilaa. Tutkittavassa kohteessa on normaalia poikkeavia huonelämpötiloja, jotka vaativat jatkuvaa jäähdytystä, esim. kylmävarastot  $+4\text{ °C}$  ja  $11\text{ °C}$ . Kyseisten tilojen lämpötila, kosteus- ja paineolosuhteita halutaan tutkia.

## 2 ELINTARVIKETEOLLISUUSKOHTEEN TIETOJA

Insinööritöissäni käytettävä kohde on Valio Oy:n Lapinlahdelle tuleva vanhan juustolan laajennus. Kyseessä on uusi rakennus, joka sijoittuu vanhan viereen. Rakennuksessa on 2 maanpäällistä pääkerrosta ja kellarikerros. Kellarikerroksessa on sosiaali-, varastointi-, mittaus-, lämmönjako- ja sähkötiloja sekä muita tuotannon prosesseihin liittyviä tiloja. Ensimmäisessä kerroksessa ovat tuotanto- ja varastointitilat sekä muita aputiloja. Tuotantotilojen tilakorkeudet vaihtelevat 5-9 metrin välillä. Lisäksi rakennuksen toisessa kerroksessa sijaitsee toimistotilaja. Työntekijöitä tehtaassa on kolmessa vuorossa (25 hlö/vuoro).



**KUVA 3. Arkkitehtimalli kohteesta**

### 2.1 Tehdasrakennuksen tilat ja rakenneratkaisut

Pääprosessitiloja juustonvalmistustehtaassa ovat juuston keittosali, muottaamo, suo-laamo, pakkaamo sekä varastointi- ja jäähdytystilat.

Tehtaan hallitiloissa käytetään Paroc-sandwichelementtejä. Paroc-elementit ovat korkealuokkaisia sandwichelementtejä, joiden ydin on Paroc structural -kivivilla. Viltaydin ja siihen liimatut teräsohutellevypinnat muodostavat yhdessä lujan komposiittirakenteen, joka täyttää ulkoseinille, väliseinille ja sisäkatoille asetetut lujuusvaatimukset [12]. Paroc-elementti on sandwichrakenne, jossa on yhtenäinen ja kylmäsiilaton eristyskerros. Tämä varmistaa hyvän ja tarkkaan määritellyn lämmöneristävyyden [13]. Ulkoseinissä käytetään Paroc-240 mm ja väliseinissä käytetään hieman ohuempia Paroc-200 mm elementtejä.



### 2.1.1 Rakennuksen vaipan lämmöneristävyyys

Rakennuksen vaipan osalta käytetään jo hyvät lämmöneristävyyden omaavia rakenteita ja vähintään D3 vertailurakennuksen mukaisia U-arvoja.

Taulukossa 1 on esitetty U-arvoja eri elementeille ja taulukossa 2 kiinnikkeiden vaikutus U-arvoon. Lämpimenevien elementtikiinnikkeiden vaikutus on lisättävä elementin U-arvoon.

**TAULUKKO 3. Paroc-elementin U-arvot [12]**

Elementti- tyyppi	U-arvot, W/m <sup>2</sup> K							
	Elementin paksuus, mm							
	50	80	100	120	150	175	200	240
AST® T	0,68	0,47	0,38	0,31	0,25	0,22	0,19	0,16
AST® S	0,69	0,48	0,38	0,32	0,26	0,22	0,19	0,16
AST® F	0,77	0,53	0,43	0,36	0,29	0,25	0,22	0,18
AST® E	0,77	0,53	0,43	0,36	0,29	0,25	0,22	0,18

**TAULUKKO 4. Kiinnikkeiden vaikutus U-arvoon, ruuvien määrä 0,7 kpl/m<sup>2</sup> (Ø 6,3mm) [12]**

Materiaali	$\Delta U_i$ , W/m <sup>2</sup> K							
	Elementin paksuus, mm							
	50	80	100	120	150	175	200	240
Hiiliteräs	0,02	0,013	0,01	0,009	0,007	0,006	0,005	0,004
Ruostumaton teräs	0,007	0,006	0,003	0,003	0,002	0,002	0,0015	0,001

### 2.1.2 Hygienia

Elintarviketeollisuudessa hygieniavaatimukset ovat korkeat. Erityistä huomiota on kiinnitettävä materiaaliominaisuuksiin, rakenteiden liittymiin, detaljiratkaisuihin sekä pintojen puhdistamiseen ja kunnossapitoon. Hygieenisten seinien ja sisäkattojen perustana ovat tiiviit elementtirakenteet ja tiivisteet. Paroc-elementtien pinnat ovat sileitä ja elementtipontit ovat vesi- ja ilmatiiviit. [13]

Myös ilmanvaihdolla on oma osuutensa hygieniaan. Ilmaa tulee vaihtaa riittävästi, eikä sitä voida palauttaa. Isot ilmamäärät taas voivat lisätä ilman lämmitystarvetta,

koska isot ilmamäärät jäähdyttävät tilaa. Ilmanvaihtokoneen suodattimet tulee olla myös varustettu HEPA-suodattimin.

## 2.2 Sisäilma ja tavoitteet

Olisi erittäin kätevää, jos teollisuusilmastoinnin laatu voitaisiin määritellä yleisesti sovitulla luokituksella: esim. tyydyttävä sisäilmasto, hyvä sisäilmasto jne. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä kukin tapaus on yksilöllinen ja arvot ovat suhteellisia. Hyvä sisäilmasto valimossa merkitsee jotain muuta kuin hyvä sisäilmasto leipomossa. Vain tietyn toimialan samantyyppisille osastoille voitaisiin laatia luokituksia. Tämä ei kuitenkaan ole tarkoituksenmukaista, koska teollisuusprosessit muuttuvat jatkuvasti ja myös kuormitus, tilat, työntekijöiden sijainti ja työskentelytapa vaikuttavat realistisiin ilmastoinnin mahdollisuuksiin, tavoitearvoihin ja sitä kautta laatuluokitukseen. [17]

Tehtaan prosessitiloissa Valiolla on omat tavoitteet ja vaatimukset sisäilmastolle. Kaikissa tuotantotiloissa ilmanvaihdon mitoitus määräytyy lämpö- ja kosteuskuormien hallinnan mukaan. Lähes kaikissa tiloissa kosteusvaatimuksena on 40 - 50% suhteellista kosteutta. Tuotantotilojen 2h pesujaksojen aikana sallitaan korkeampi kosteustaso. Tilannetta pyritään korjaamaan tehostamalla ilmanvaihtoa pesujen aikana. Käytössä on myös erillinen ilmankuivainlaitteisto. Lämpötilavaatimukset ovat prosessien aputiloissa 20 °C ja vaihteluväli 17–25 °C tilasta riippuen. Prosessien aputiloissa lämpötilojen annetaan liukua energian kulutuksen minimoimiseksi. Tiloilla on myös vaatimuksia painesuhteiden kanssa. Mielenkiintoisimpia tiloja simuloinnin kannalta ovat keittosali isojen lämpökuormien takia sekä suolaamo-, kypsytys- ja jäähdytystilat. Tässä kappaleessa mainittuja tilojen vaatimuksia on tarkoitus soveltaa olosuhde- ja energiasimulointiohjelmaan.

Oheisessa taulukossa on muutamien tärkeimpien tilojen vaatimuksia ja alimpana muita aputiloja.

**TAULUKKO 5. Tutkimuskohteen tavoitelämpötilat**

Tila	Tavoitelämpötila °C	Vaihteluväli °C	Suhteellinen kosteus %
Keittosali	20	20–30	40–50
Muottaus	25	20–30	40–50
Suolaamo	11	10–12	40–50
Pakkaamo	20	17–25	40–50
Kypsytytys	11	10–12	40–50
Jäähdytys	4	3–5	40–50
Valvomo	20	20–25	40–50
Taukuhuone	20	20–25	40–50
Käytävä	20	17–25	40–50

### 2.3 Lämpökuormat

Juuston keittosalissa on paljon lämpökuormaa ja kosteutta. Lämpökuormia ovat rakenteiden kautta ja mahdollisesti ilmastoinnin mukana tulevien lämpökuormien lisäksi sähkömoottorit, kuumat keittokattilat, laskualtaat ja putket sekä valaistus ja henkilökuorma. Kosteuskuormista tärkein on pesujakson aikana tapahtuva pintojen ja laitteiden pesu. Pesujakson aikainen kosteuskuorma saa nostaa pesujakson aikaista suhteellista kosteutta. Tilannetta pyritään kuivaamaan tehostetulla ilmanvaihtokoneen tuloilman kuivaamisella sekä erillisellä ilmankuivain laitteistolla. Tällaiset tilanteet vaikeuttavat merkittävästi kyseisenlaisen ilmanvaihtotilanteen simuloimista IDA ICE ohjelmalla. Pelkän yleisilmanvaihtokoneen osalta tilanne on mahdollista simuloida.

Pakkaamon lämpö- ja kosteuskuormat ovat vähäisempiä kuin juuston keittosalissa. Lämpökuormista tärkeimmät ovat rakenteiden läpi tulevat kuormat, sähkömoottorit, vakuumikoneet ja valaistus. Kosteutta tulee pesuista, joita tehdään tuotantojaksojen päättyessä.

Suolaamossa kylmä 10–12 °C:n suolavesi ja allasrakenteet sitovat lämpöä huonetilasta. Suolaveden jäähdytykseen käytetään +1 °C:sta jäävettä, joka kiertää suolavedessä olevan lämmönsiirtimen kautta. Suolaamon lämpökuormat muodostuvat pääasiallis-

ti rakenteiden kautta siirtyvästä lämpöenergiasta. Kosteutta tilaan tulee jatkuvasti altaasta haihtumalla.

Lämpökuormista pyritään kokoamaan projektin aikana tilakohtaiset tiedot. Prosesseihin liittyviä laitteita on suuret määrät, että niiden tehot ja tilaan aiheutuvat lämpökuormat lasketaan valmiiksi Excel taulukossa ja yhdistetään yhdeksi keskitehoksi tilakohtaisesti. Näin joudutaan toimimaan, koska laitteiden käyntiaikatauluja ei tarkalleen tiedetä.

Lämpökuormista aiheutuvaa tilojen lämpötilan nousua voidaan osittain hyödyntää rakennuksen lämmityksessä. Lämpökuormaenergia voidaan hyödyntää vain sillä edellytyksellä, että samanaikaisesti esiintyy lämmitystarvetta ja että säätölaitteet vähentävät muun lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. [6]

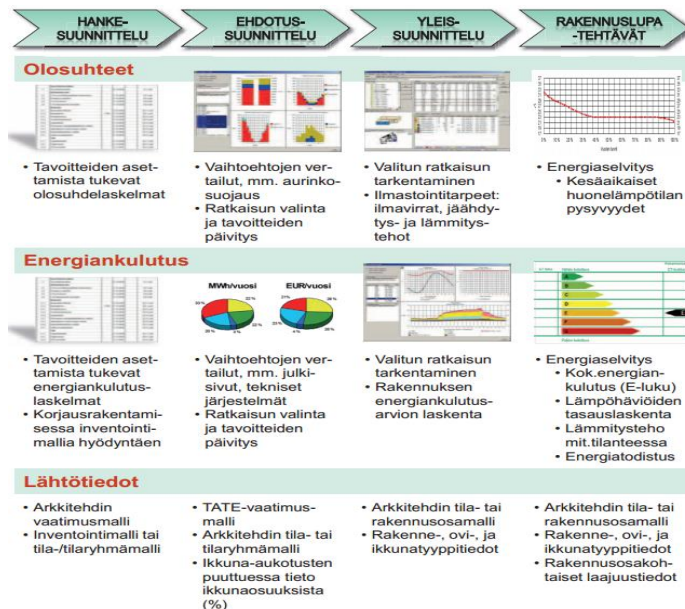
### **3 OLOSUHDE- JA ENERGIASIMULOINTI OHJELMAN KÄYTTÖ**

#### **3.1 Simulointityökalun käyttö suunnittelussa**

Rakennuksen olosuhde- ja energiankulutustavoitteiden saavuttamiseen voidaan vaikuttaa arkkitehtonisten, rakenneteknisten ja taloteknisten ratkaisujen avulla. Suunnittelijoiden välinen yhteistyö jo hankkeen alusta lähtien on siten tärkeää optimaalisen kokonaisratkaisun löytämiseksi. Rakennuksen energiatehokkuuden, elinkaarivaikutusten ja tilojen olosuhteiden analysointi toimii tässä merkittävänä tukena. [8]

Luonnossuunnitteluvaiheessa simulointia käytetään selvitysten ja kustannusvertailujen tuottamiseen. Tällöin lähtötietoina ovat massoitteluvaihtoehdot, tilaluettelo ja laatu-  
tasotiedot. [3]

Simulointityökalua voidaan käyttää jo varhaisessa luonnossuunnitteluvaiheessa. Tällöin simulointia voidaan käyttää erilaisten rakenteiden, tilojen ja materiaalien vertailuun. Rakennuksen kokoa, muotoa ja sijaintia esim. ilmansuuntiin taikka varjostuksiin nähden voidaan vertailla keskenään erilaisilla vaihtoehdoilla.



**KUVA 4. Tietomallin hyödyntämismahdollisuudet [8.]**

Suunnittelun edetessä lasketaan huoneiden lämmitys- ja jäähdytystehontarpeet. Lähtötietoina ovat pohjapiirustukset, julkisivupiirustuksen, rakennetyypit, ikkunakaaviot, huoneselostus, laatutasotiedot ja järjestelmäkaaviot. [3]

Edellä mainituilla vertailuilla voidaan tutkia rakennuksen energian kulutusta sekä investointi- ja ylläpitokustannuksia.

### 3.2 Talotekniikan analyysit

Talotekniikan analysointia käytetään rakennuksen tavoitteenmukaisuuden arvioimiseen eri vaiheissa sekä talotekniikan järjestelmämallinnuksessa tarvittavien lähtötietojen määrittämiseen. Analysointia voidaan hyödyntää rakennusprosessin eri vaiheissa, mutta potentiaalisin käyttö tapahtuu suunnittelun alkuvaiheissa vaihtoehtoisia ratkaisuvaihtoehtoja analysoitaessa. Tärkeimmät talotekniikan analysoinneista, joissa tuotemalleja voidaan hyödyntää, on lueteltu seuraavassa:

- Sisäilmaston olosuhdesimuloinnit
- Virtaussimuloinnit (CFD)
- Elinkaarikustannustarkastelut (LCC)
- Ympäristövaikutustarkastelut (LCA)
- Talotekniikan visualisoinnit (sisältäen myös valaistuslaskennan) [15].

### 3.3 Sisäilmaston olosuhdesimuloinnit

Sisäilmaston olosuhdetavoitteiden saavuttamisessa ja erilaisten suunnitteluratkaisujen olosuhdevaikutusten selvittämisessä sisäilmaston olosuhdesimuloinneilla on tärkeä rooli. Se on myös varsinaista LVI-suunnittelua tukeva työkalu järjestelmien mitoittamiseen eli tilakohtaisten ilmanvaihto-, lämmitys- ja jäähdytystarpeiden määrittelyyn. Tarkemmin olosuhdesimulointien potentiaaliset käyttökohteet on esitetty seuraavassa:

Lämpöolosuhteet:

- Tilakohtainen sisälämpötila mitoitusolosuhteissa, esimerkiksi kesäpäivinä
- Sisälämpötilan pysyvyys eli kuinka usein tavoiteolosuhteet ylittyvät vuoden aikana
- Prosessien aiheuttamien lämpökuormien vaikutus
- Rakenteellisten ratkaisujen vaikutus, kuten ikkunoiden ja aurinkosuojausratkaisujen vertailu
- Lämpöongelmien analysointi olemassa olevien kiinteistöissä.

Ilmastointitarpeiden mitoitus:

- Tilakohtaisten ilmanvaihtotarpeiden mitoitus
- Tilakohtaisten jäähdytystarpeiden mitoitus
- Tilakohtaisten lämmitystarpeiden mitoitus.

LVI-järjestelmien suunnittelu:

- Ilmastoinnin palvelualuejaon suunnittelu
- Jäähdytysjärjestelmän mitoitus rakennuksen todellisen samanaikaisen jäähdytystarpeen perusteella [15].

### 3.4 Energiasimuloinnit

Energiavertailujen avulla voidaan kohteen energiatehokkuutta kehittää ja varmistaa suunnitelman tavoitteenmukaisuus. Energiasimulointeja käytetään vertailtaessa, kuinka erilaiset suunnitteluvaihtoehdot, esim. tekniset järjestelmät tai rakenteet, vaikuttavat kohteen energiankulutukseen. Lisäksi energiasimulointia käytetään ylläpitovaiheen kulutusseurannan tavoitteen määrittämiseen.

Energiasimulointi voi käsittää laajimmillaan koko talotekniikan järjestelmien kulutuksen:

- Lämmitysenergiankulutus
- Jäähdytysenergiankulutus
- LVI-järjestelmien sähkönkulutus (puhaltimet, pumput jne.)
- Sähköjärjestelmien sähkönkulutus (valaistus, toimistolaitteet, muut laitteet, keittiö jne.)
- Veden kulutus (sisältäen käyttöveden lämmityksen) [15].

Energialaskelman kannalta rakennusta ei tarvitse jakaa yksityiskohtaisiin laskentavyöhykkeisiin, mikäli tilojen käyttötarkoitus ei poikkea toisistaan. Energialaskennassa olosuhteiltaan samanlaisia tiloja voidaan käsitellä yhtenä isona tilana. Tämän työn tutkittavassa kohteessa useat tilat poikkeavat toisistaan lämpötilavaatimuksiltaan, ilmanvaihdon ja lämpökuormien osalta, joten tilojen yhdisteleminen ei onnistu.

## 4 ENERGIA-ANALYYSIT JA OHJELMAT

### 4.1 Vaatimukset ohjelmille

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaan laskentatyökalun tulee laskea vähintään lämmitysenergian nettotarve, ja mikäli tarkasteltavassa rakennuksessa on jäähdytysjärjestelmä, niin myös jäähdytysenergian nettotarve. Rakennusten, joissa ei ole jäähdytystä tai jäähdytystä on vain yksittäisissä tiloissa, energialaskenta voidaan suorittaa laskentatyökalulla, joka perustuu kuukausitason laskentamenetelmään. Kaikkien muiden rakennusten energialaskenta pitää suorittaa laskentatyökalulla, jonka

lämmönsiirron laskenta pystyy ottamaan huomioon rakenteiden lämmönvarausominaisuuden ajasta riippuvaisena. Tätä kutsutaan dynaamiseksi laskentamenetelmäksi.

Vaatimuksena energia-analyyseihin käytettäville ohjelmille on IFC-tiedoston (v.2x3 tai uudempi) luku (luvussa 4.4 lisää IFC tiedostonsiirrosta). Toisena vaatimuksena energia-analyyseihin käytettäville ohjelmille on dynaaminen laskenta, joka tarkoittaa mm. että ohjelma ottaa huomioon lämmön varastoitumisen rakenteisiin. Laskenta kattaa koko vuoden maksimissaan tunnin pituisella aika-askeleella ja käyttäen rakennuksen sijainnin mukaista vuosisäädataa. Ohjelma ottaa huomioon sisäiset kuormat ja niiden aikataulut.[8]

Dynaamisella laskennalla saadaan selvitettyä rakennuksen käyttäytymistä erilaisissa olosuhteissa esimerkiksi talven kylmimpinä aikoina ja todeta lämmitystehon riittävyys. Myös kesällä voidaan todeta aiheutuuko tiloihin lämpenemistä esimerkiksi ikkunan kautta tulevan aurinkokuorman kautta ja sillä, voidaanko lämpötilaa hillitä passiivisin keinoin vai riittäisikö tehostettu tuuletus tai tarvitaanko erillistä jäähdytystä.

## **4.2 IDA ICE olosuhde- ja energiasimulointiohjelma**

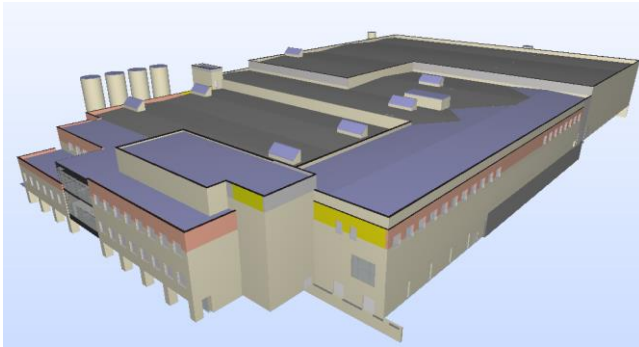
IDA ICE on ohjelma, jonka avulla voidaan tutkia rakennuksen eri vyöhykkeiden sisäilmastoa sekä koko rakennuksen energiankulutusta. IDA Indoor Climate and Energy on osa laajempaa IDA-simulaatioympäristöä. Yleensä simuloitava kohde on rakennus, jossa on yksi tai useampia vyöhykkeitä sekä primääri- ja yksi tai useampi ilmastointijärjestelmä. Ympäröivät rakennukset voivat varjostaa simuloitavaa rakennusta. Ohjelmassa sisäilmassa on myös CO<sub>2</sub>- ja kosteustase. Sää tiedot saadaan säätiedostoista tai luodaan tarkastelun kohteena olevalle vuorokaudelle. Tuulen ja lämpötilaeroista johtuvat ilmavirtaukset voidaan myös ottaa huomioon. Ennalta määriteltäviä rakennusosia voidaan hakea tietokannasta, ja siihen voidaan myös tallentaa käyttäjän määrittelemiä rakennusosia. [11]

## **4.3 Rakennuksen geometrisen mallin luominen**

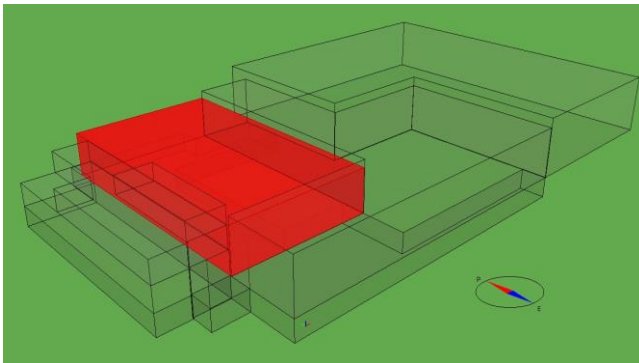
IDA ICE simulointiohjelmalla tehdään rakennuksesta oma kolmiulotteinen malli. Tavallisesti tämä tapahtuu tuomalla IDA:aan rakennuksen CAD-pohjapiirustus, jonka



päälle muodostetaan rakennuksen ulkovaipan mukainen malli. Korkeudeksi määritellään muodostettavan rakennusvaipan korkein kohta. Korkein osa ei välttämättä ole katto, mikäli vaipan muoto ja korkeuserot vaihtelevat kerroksien välillä. Mikäli vierekkäin on erikorkuisia rakennuksen osia, nämä osat tulee muodostaa omina rakennuksen osina. Kuvista 5 ja 6 voi nähdä edellä mainittuja tilanteita.



**KUVA 5. Arkkitehtimalli kohteesta**



**KUVA 6. Arkkitehtimallia vastaava vaippa muodostettuna**

IDA ICE ohjelmassa havaittiin hidastumisongelmia isojen CAD-piirustusten kanssa. Pienikokoisten piirustusten kanssa ongelmaa ei esiinny ja rakennuksen mallin luominen sujuu hyvin. Opinnäytetyön kohde on isompi teollisuuskohde, jonka CAD-piirustukset hidastavat ohjelmaa tuskallisen paljon. Asia tulee ratkaista siivoamalla piirustuksesta kaikki mahdollinen ylimääräinen, niin että piirustukseen jää vain seiniä kuvaavat viivat sekä ikkunoiden ja ovien paikat. Lisäksi AutoCADissa tulee suorittaa Purge- ja Audit- toiminnot, jotka siivoavat ja pienentävä DWG-tiedoston kokoa. Näiden toimenpiteiden jälkeen pohjapiirustusten kanssa toimiminen onnistuu taas.

#### 4.4 IFC-tiedostonsiirto

IFC-tiedonsiirtoa käytetään erityisesti tuotemalliperusteisessa rakennussuunnittelussa. Standardin perusajatus on se, että sen välityksellä on mahdollista siirtää tuotemallitietoa ohjelmistoista riippumattomasti sekä CAD-järjestelmien välillä, että myös esimerkiksi suunnitteluohjelmistosta erilaisiin analyysi-, tuotanto- ja tuotetietohjelmistoihin. IFC:llä siirretään ainoastaan oliotietoa eli 3D-geometriaa ja parametreja. Sillä ei voida siirtää piirustusmuotoista tietoa. [9]

IFC on kansainvälinen ja jatkuvasti kehitettävä rakennusalan standardi. Nykyhetkellä ohjelmistoissa yleisesti käytössä oleva versio on IFC 2x3-muoto.

#### 4.5 Rakennuksen geometria ja vyöhykkeet IFC-mallin kautta

Yleensä suunnittelun vaiheessa on mahdollista käyttää arkkitehtien tietomallia ja tuoda rakennuksen malli IFC:nä IDA:aan. IFC-mallin mukana tulee rakennuksen geometriset mitat, ikkunat ja ovet oikeilla paikoillaan. Myös vyöhykkeet saadaan luotua nopeasti, mikäli IFC-malli on toimiva. Tämä nopeuttaa huomattavasti simulointien tekemistä, kun ei tarvitse enää muodostaa rakennuksen mallia uudestaan. Riittää vain vyöhykkeiden muodostus, rakenteiden ja ikkuna- sekä ovityyppien määrittäminen.

Tässä työssä mahdollisuutena oli käyttää arkkitehtien muodostamaa IFC-mallia, joka on tuotettu Autodesk Revit ohjelmalla. Toinen IFC-malli muodostettiin itse MagiCAD Room sovelluksella.

##### 4.5.1 MagiCAD Room IFC-malli

MagiCAD Room -ohjelmalla luodaan oma kolmiulotteinen malli olemassa olevien pohjapiirustusten päälle. Aluksi määritellään kerrokset ja niiden korkeudet. Rakenteet, ikkunat ja ovet nimetään sekä annetaan niille U-arvot. Huoneet määritellään ja annetaan niille korkeudet. Määritellyistä huoneista IDA ICE muodostaa rakennuksen tarkasteltavat tilat eli vyöhykkeet.

Ongelmaksi MagiCAD Room -ohjelmalla toimiessa osoittautuivat erikorkuiset tilat, jotka ”lävistävät” toisen kerroksen. IDA ICE herjaa tällaisista tapauksista eikä osaa käsitellä tilannetta, vaan poistaa ongelmavyöhykkeen. Ongelmaa voi yrittää ratkaista määrittämällä korkean tilan huonekorkeudeksi määritetyn kerrostason korkeuden, joka on esim. 4 m, kun itse huone on 8 m. Tämä tarkoittaa sitä, että edellä mainittua korkeaa tilaa tulee ”jatkaa” toisessa kerroksessa ja määrittää siellä korkean tilan yläosa, joka on 4 m. Tällaisen mallin kohdalla IDA ICE ohjelmassa korkean ja matalan tilan välillä on automaattisesti välipohjarakenne. Tilanne täytyy korjata muodostamalla ylemmän tilan lattiaan koko lattian mittainen aukko. Edellä mainittu tilanne on toimiva muutaman tapauksen kanssa. Jos malli sisältää paljon kuvatuunlaisia tilanteita, on kyseisten tilojen muodostaminen työlästä ja aikaa vievää.

Myös rakennuksen vaippa ei muodostu oikein, vaan vaipan osat muodostuvat väärin kerroksien kohdalla ja etenkin ylimmässä kerroksessa tulee ongelmia, koska katto ei ole oikeassa paikassa matalampien rakennuksen osien kanssa. IDAn kattoeditorityökalu ei ole järkevä ratkaisu tilanteen korjaamiseen. Se soveltuu hyvin muutaman tapauksen luomiseen sekä esim. tavallisen harjakaton mallintamiseen.

Ongelmaksi koituu myös mallin päivittäminen. Mikäli jokin huonetila muuttaa muotoaan, tulee MagiCad Room -ohjelmalla muuttaa tämä tila ja tuoda IFC-malli uudestaan IDA:aan ja käytännössä aloittaa työt joka kerta alusta.

Lisäksi IDA ICE malli tulee raskaammaksi askel kerrallaan edellä mainittuja toimenpiteitä tehden ja tekee lopulta työskentelyn vaikeaksi sekä virheitä saattaa tulla niin paljon, että laskenta ei enää onnistu.

#### **4.5.2 Autodesk Revit IFC malli**

Autodesk Revitin kanssa toimiessa täytyy määritellä mitä IFC-tiedostoon viedään. Arkkitehtimalli sisältää yleensä paljon ”turhaa” tietoa energiamallinnusta varten. Nämä turhat tiedot voivat olla esim. portaikkoja, valaisimia, kalusteita, putkistoja tai muita vastaavia mallinnettuja asioita. Olosuhde- ja energiasimulointiin riittää, että mallissa on lattiat, välipohjat, katot ja seinät sekä muodostettu tilat määritettyinä, joista IDA ICE muodostaa vyöhykkeet. IDA:n tapauksessa Revitin mallia ei saatu toimi-

maan kovinkaan hyvin. Jo alun perin malli on niin iso, että sen latautuminen IDA:aan kestää todella kauan ja joissain tapauksissa mallia ei saada siirrettyä ollenkaan. Tapauksissa, joissa IFC-mallin sai ladattua IDA:aan, pystyi toteamaan heti, että ohjelma oli luonut esim. 15 kerrosta, kun oikeasti rakennuksessa olisi vain 4 kerrosta. Myös rakennuksen vaippa muodostuu eri kerroksissa aivan väärin. Kokonaisuudessa malli on niin iso ja raskas, että sen ymmärtäminen ja korjaaminen IDA:lla on liian työlästä eikä kannata.

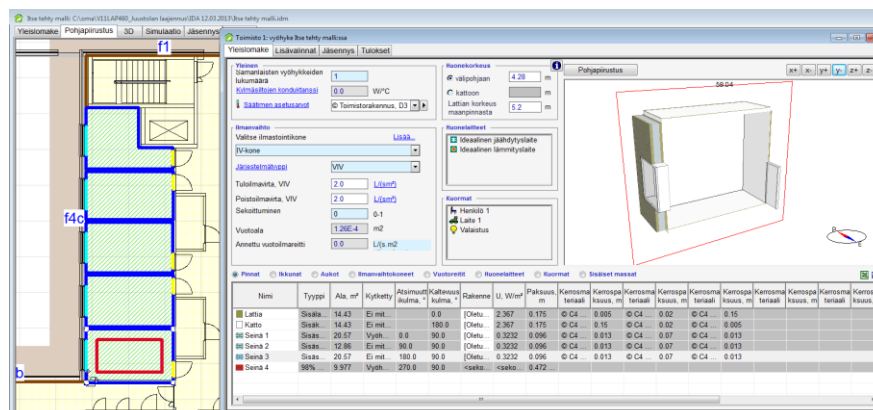
Etenkin luonnossuunnitteluvaiheessa rakennuksen malli ja muoto vaihtelee. Tämä vaatisi arkkitehdiltä joka kerta tarkkaa mallintamista, eikä se saisi sisältää mitään virheitä energialaskentaohjelman kannalta. Todellisuudessa luonnossuunnitteluvaiheessa arkkitehdin malli voi olla hyvinkin ”rikkinäinen”. Juuri tämä tekee vaikeaksi Revitin IFC-mallin käyttämisen luonnossuunnitteluvaiheessa, jolloin erilaisia ratkaisuja voisi vertailla.

Autodesk Revitin kanssa toimiessa asia vaatii paneutumista yhdessä arkkitehtisuunnittelijan kanssa, kuinka luoda oikeanlainen ja toimiva IFC-malli IDA ICE energiasimulointiohjelmaa varten. IFC -asiaan Revitin kohdalla on työn aikana tartuttu pienin askelin ja tulevaisuuden kannalta pyritään ratkaisemaan sekä selvittämään, saadaanko Revitin malli tuotua energialaskentaohjelmaan käyttökelpoisessa muodossa.

Työn suorituksen aikana tietoon tuli ohjelma nimeltä SimpleBIM, jolla pystyy muokkaamaan IFC-tiedostoa ja poistamaan siitä energialaskennan kannalta turhat objektit. Ohjelmasta kokeiltiin kokeiluversiota, ja sillä onnistui kohtuullisen helposti muokata IFC-mallia. Kyseisestä mallista ei silti saatu oikein toimivaa, vaan ongelmat tulisi ratkoa alkuperäisellä ohjelmalla, jolla IFC-malli on luotu.

## 4.6 Rakennuksen vyöhykkeet

Vyöhykkeet ovat tavallisesti yksittäisiä huoneita tai tiloja, vyöhykkeeseen voi myös yhdistää useampia samankaltaisia tiloja. Usein onkin järkevämpää yhdistellä tiloja ohjelman laskennan nopeuttamiseksi, myöskään energian laskentaan tällä ei ole juuri vaikutusta. Kun halutaan simuloida tilojen olosuhteita, niin tässä tapauksessa tulee tarkasteltavat tilat muodostaa ominaan.



KUVA 7. Vyöhykkeet eli huonetilat kuvassa vihreinä laatikoina

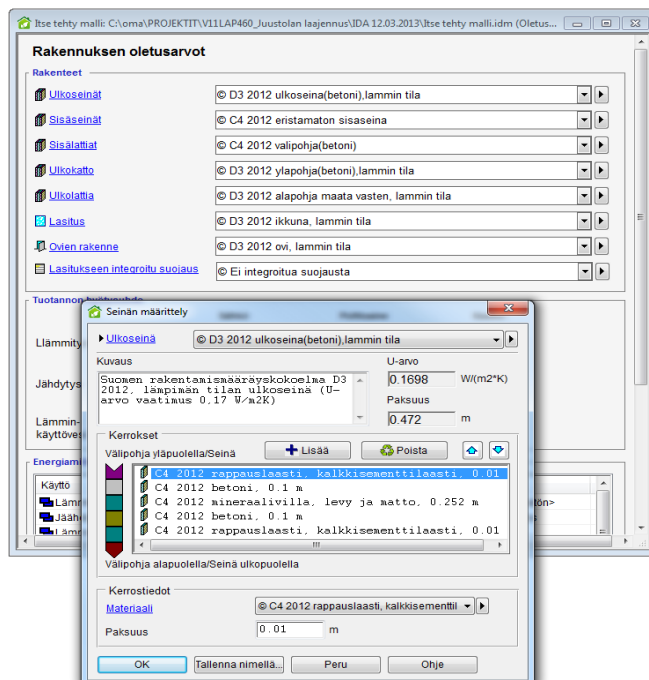
Ohjelmasta löytyy valmiita D3-asetusarvoja vyöhykkeille erilaisia tapauksia varten, esim. asuintalot, liikerakennukset, sairaalat, toimistot jne. Näissä tapauksissa lämmitys- ja jäähdytysrajat, ilmamäärät, valaistus- ja muut kuormat sekä ihmisten määrä on valmiiksi syötetty D3:n mukaisiksi eri tilatyyppejä varten. Edellä mainittu nopeuttaa laskennan suorittamisia. Kaikkia asetusarvoja voidaan helposti muuttaa ja suorittaa esim. olosuhdesimulointeja todellisilla ilmamäärillä taikka poikkeavilla kuormilla.

Käyttötarkoitukseluokan 9 rakennuksissa käytetään ilmanvaihdon osalta suunnitteluarvoja.

## 4.7 Rakenteiden määrittely

Rakennuksen seinien, lattioiden ja kattojen rakenteet määritellään yleisvälilehdeltä. Käytössä on valmiita rakenteita, jotka täyttävät D3-vaatimukset esim. U-arvojen osalta. Rakenteita voidaan myös itse määrittellä oikeita rakenteita vastaaviksi. Käytössä on valmiina useita materiaaleja, joista saadaan muodostettua esim. tuuletettua alapohjaa vastaava rakenne oikeine eristepaksuuksineen. Materiaaleja voi myös itse lisätä ja

tallentaa ohjelmaan. Tällöin täytyy tietää materiaalien tarkempia ominaisuuksia kuten lämmön johtavuus, tiheys ja ominaislämpökapasiteetti. Ohjelma laskee ja näyttää U-arvon muodostetulle rakenteelle.



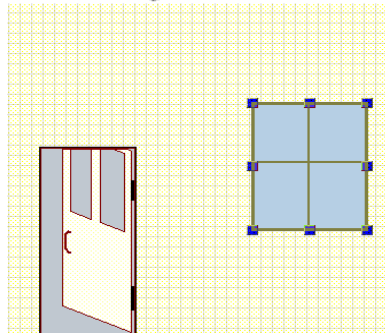
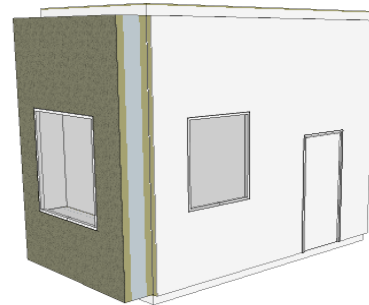
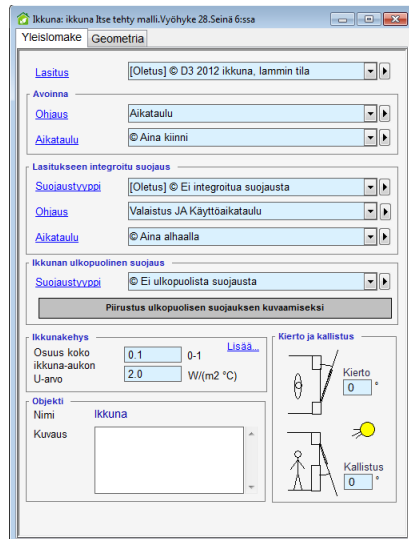
**KUVA 8. Rakenteet**

Kuvasta 8 selviää rakenteiden määrittelyn idea. Oletusarvot välilehdeltä määrittäessä rakenteet päivittyvät rakennukseen automaattisesti kaikkiin paikkoihin, väliseinät, ulkoseinät, ikkunat ja ovet. Kun rakennus on iso ja monimuotoinen sisältäen erilaisia seiniä sekä materiaaliratkaisuja, täytyy tässä tapauksessa käydä huonekohtaisesti määrittelemässä seinäkohtaiset rakenteet. Edellä mainittu on tärkeää etenkin ulkovaipassa energialaskennan kannalta ja myös sisäseinien osalta kun halutaan suorittaa olosuhdesimulointeja erilämpöisten tilojen välillä. Isossa kohteessa rakenteiden määrittely on työlästä. IFC-tiedoston kautta rakenteet voi automaattisesti yhdistellä oikeisiin rakenteisiin, mikä nopeuttaa asiaa huomattavasti.

#### 4.8 Ikkunoiden, ovien ja aukotuksien määrittely

Ikkunat ja ovet on helppo lisätä vyöhykkeisiin pohjapiirustuksen mukaisiin kohtiin. Jos rakennukseen on sijoitettu monta samanlaista ikkunaa tai ovea, on järkevintä tallentaa yksi oikeankokoinen ikkuna tai ovi, jota voidaan kopioida muihin kohtiin.

Valmiiksi määriteltäviä ikkunatyyppejä löytyy useaa mallia. Ikkunoita voidaan myös muodostaa itse ja syöttää niille valmistajalta saatuja parametreja.

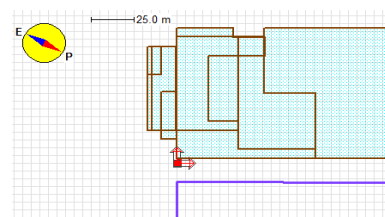
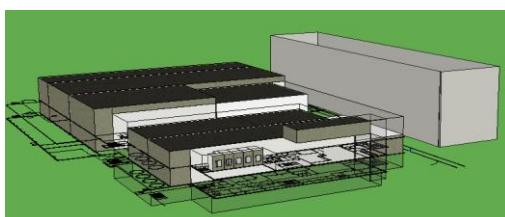


**KUVA 9. Ikkunat, ovet ja aukotukset**

#### 4.9 Rakennuksen suuntaus ja varjostus

Rakennus saadaan käännettyä oikeaan ilmansuuntaan yleisvälilehdeltä. Olosuhde- ja energiasimuloinnin kannalta on tärkeää, että rakennus on suunnattu oikein. Suuntauksella on suuri merkitys esimerkiksi kesäajan lämpötilan tarkastelujen kannalta, koska useimmiten eniten lämpiävät tilat sijaitsevat eteläpuolella.

Rakennuksen ympärille voidaan myös muodostaa varjostavia kohteita samalta välilehdeltä. Esimerkiksi viereinen korkea rakennus tai metsä voi olla tällainen. Kuvasta 10 voi nähdä esimerkkitapauksen, jossa tehtaan viereen on sijoitettu korkea rakennus. Kuvatuollaisella tilanteella voi olla isokin vaikutus positiivisessa mielessä tehtaan kylmävarastoiden jäähdytystehontarpeeseen kesäolosuhteissa.



**KUVA 10. Suuntaus ja varjostukset**

#### 4.10 Sijainti ja sää

Ohjelman pääsivulla määritellään rakennuksen maantieteellinen sijainti ja käytettävä säädata. Tässä tapauksessa kohde sijaitsee Lapinlahdella ja ohjelmassa sijaintina käytetään lähellä olevaa Kuopiota. Ohjelma osaa näin käyttää oikeaa ulkolämpötilaa ja ominaisuuksia sekä auringon säteilyä.

#### 4.11 Ilmanvaihto ja vuotoilma

Päävälilehdeltä asetetaan rakennuksen vuotoilma. Vuotoilma voidaan asettaa vakioksi tai myös tuulen aiheuttaman ilmanpaineen aiheuttamaksi. Ohjelmasta voidaan määritellä tuulisuus esimerkiksi kaupunki- tai maaseutuolosuhteita vastaaviksi.

#### 4.12 Lämpökuormat

Lämpökuormat syötetään pinta-alaa kohden. Ylimpänä yksiköiden lukumäärä tarkoittaa ohjelman määrittämää vyöhykkeen pinta-alaa. Lämpökuorman lämmönluovutus ajankohta voidaan aikatauluttaa. Vaihtoehtoina ovat valmiit D3-standardikäytön aikataulut eri rakennustyypeille. Luonnollisesti teollisuusrakennuksessa tulee käyttää todellisia aikatauluja. Työssä päätettiin käyttää jatkuvaa lämmöntuottoa, koska työssä on laskettu kaikki laitteiden yms. lämmöntuotot yhteen eri ajankohdilta ja laskettu näistä keskiarvo. Tämä ei kuitenkaan vastaa täydellisesti todellista tilannetta ja aiheuttaa esimerkiksi sen, että prosessista aiheutunut lämpökuorma ei välttämättä riitä lämmittämään tilaa lämmityskaudella hetkinä jolloin kuorma on pienempi. Simuloinnin kannalta keskiarvon käyttäminen on silti ainoa vaihtoehto.

The screenshot shows a software window titled "Laite 1: laitteet Suunnitteluavot.Kattilatissa". It contains several input fields and dropdown menus for configuring heat load calculations:

- Yksiköiden lukumäärä:** 615.3
- Aikataulu:** Aina On/ikkuna auki/suojaus kiinni
- Lämmönluovutus yksikköä k:** 59 W
- Lämmönluovutus yksikköä k:** Sähkö
- Energiamittari:** Oletus Laitteet, asukas
- Lisä:**
  - Pitkäaaltosen säteilyn osuus:** 0.0 (range 0-1)
  - Kosteudenluovutus yksikköä kohti:** 0.0 kg/s (range 0-1)
  - Kosteudenluovutus yksikköä kohti:** 0.0 kg/s (range 0-1)
  - CO2-tuotto yksikköä kohti:** 0.0 mg/s (range 0-1)
  - Osuus tilaan:** 1 (range 0-1)
- Objekti:**
  - Nimi:** Laite 1
  - Kuvaus:** Laitteiden standardikäytön lämmönluovutusteho W/m2, D3 2012, liikerakennus, taulukko 3

KUVA 11. Lämpökuormien syöttäminen ja aikataulutus



#### 4.13 Muita asetuksia

IDA ICE:ssä voidaan syöttää päävälilehden kautta tiedot esimerkiksi lämmityksen ja käyttöveden lämmityksen COP-kertoimesta, jos käytössä on esim. maalämpöpumppu. Myös kylmäkerroin saadaan asetettua. Näin ohjelma osaa laskea käytettävän osatoenergian määrän oikein. Ongelmalliseksi tulevat tilanteet kun käytössä on kaksi tai jopa kolme eri lähdettä, joilla tuotetaan lämpöä, esim. kattilalaitos ja maalämpöpumppu.

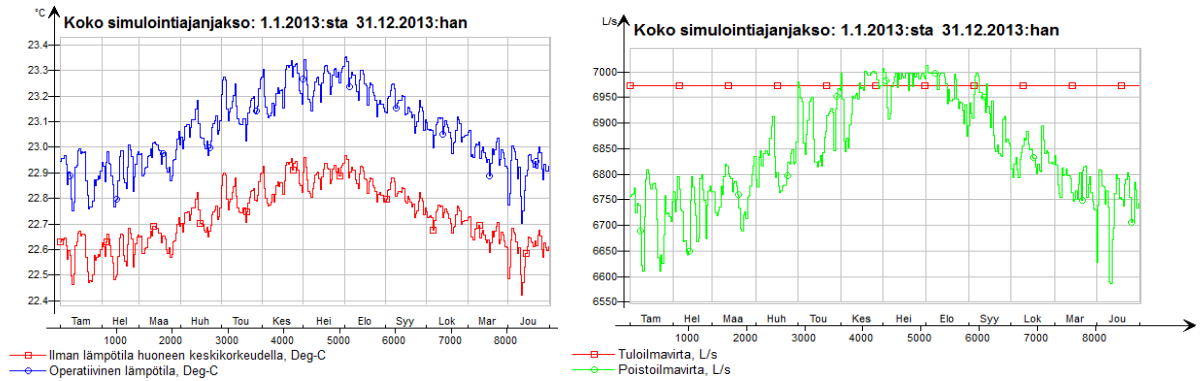
Energialaskennan kannalta hyödyllisiä asetuksia ovat energiamittarit, joidenka kautta voidaan määritellä mitkä laitteet kuuluvat kiinteistöön ja mitkä kuluttajalle. Samassa kohdassa voidaan määritellä lämpö- ja sähköenergian hinta ja energiamuotokerroin. Ohjelma osaa näin laskea kuluneen lämpö- ja sähköenergian rahallisesti ja laskea energiamuotokertoimin painotetun E-luvun.

#### 4.14 Laskentaesimerkkejä

Ohessa esitetyt laskentaesimerkit ovat luonnossuunnitteluvaiheen tietojen pohjalta suoritettuja simulointeja eivätkä näin vielä vastaa täydellisesti todellista tilannetta. Simuloinnissa pystytään silti vertailemaan kahta erilaista ratkaisua ja näkemään näiden erotus, vaikka todellista täydellisen tarkkaa lopputulosta ei saataisikaan.

*Suunnitteluratkaisu:*

- Pinta-ala	700 m <sup>2</sup>
- Vakioilmavirta	+/-7 m <sup>3</sup> /s
- Sisäänpuhalluslämpötila	+13 C°
- Tavoitelämpötila	+22 C°
- Lämpötilavaihtelu sallittu	+20-30 C°
- Prosessista tuleva lämpökuorma	~70 kW
- Valaistuksen kuorma	7 kW



**KUVA 12. Keittosalin lämpötila ja ilmamäärä**

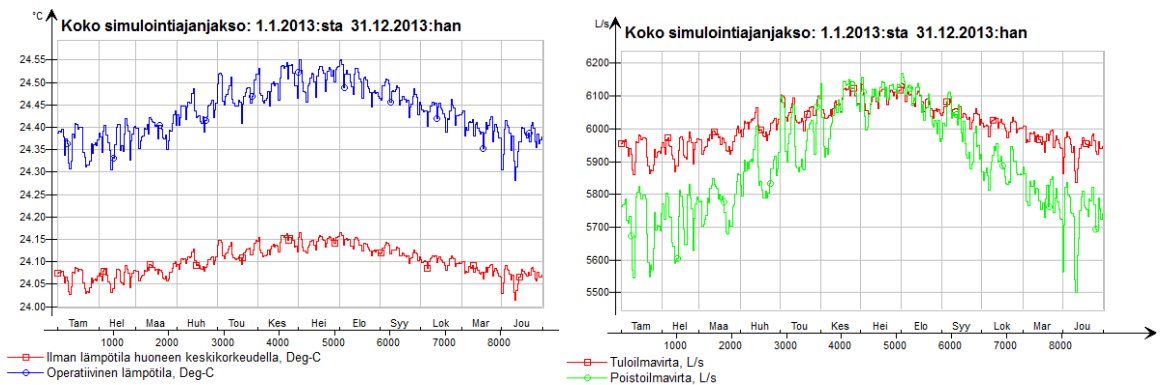
Tavoitelämpötila saavutetaan suunnitelluilla arvoilla ja oheisen esimerkin ilmanvaihtokoneen energiankulutus on esitetty taulukossa 4.

**TAULUKKO 6. Suunnitteluratkaisun iv-koneen energiankulutus**

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	62244.0	0.0	71481.0	0.0	0.0	8524.0
2	52906.0	0.0	62693.0	0.0	0.0	7702.0
3	44182.0	0.0	61217.0	0.0	0.0	8543.0
4	20724.0	118.4	44693.0	0.0	0.0	8295.0
5	6672.0	6373.0	26262.0	0.0	0.0	8610.0
6	1173.0	16895.0	10615.0	163.6	0.0	8360.0
7	166.8	31513.0	4031.0	75.8	0.0	8652.0
8	731.4	23983.0	8746.0	137.0	0.0	8643.0
9	3480.0	2633.0	22168.0	0.0	0.0	8338.0
10	13897.0	0.0	42983.0	0.0	0.0	8578.0
11	35599.0	0.0	55149.0	0.0	0.0	8275.0
12	53877.0	0.0	66697.0	0.0	0.0	8533.0
<b>Yhteensä</b>	<b>295652.2</b>	<b>81515.4</b>	<b>476735.0</b>	<b>376.4</b>	<b>0.0</b>	<b>101053.0</b>

*Vaihtoehtoinen ratkaisu:*

Toisessa esimerkissä käytetään samaa tilaa samoilla kuormilla tavoitteena mahdollisuus energiansäästöön ilmanvaihtokoneen osalta. Erona ensimmäiseen esimerkkiin käytetään tarpeen mukaista ilmamäärää, joka ohjautuu lämpötilan mukaan.



**KUVA 13. Keittosalin lämpötila ja ilmamäärä**

Tavoitelämpötila 22 C° ylittyy noin 1,5-2 C° asteella, joka on hyväksyttävissä. Lämpötilakäyrä on hieman tasaisempi kuin suunnitteluratkaisussa. Taulukossa 5 on esitetty tämän ratkaisun energiankulutus.

**TAULUKKO 7. Vaihtoehtoisen ratkaisun energiankulutus**

Kuukausi	Lämmitys	Jäähdytys	LTO	Jäähdytyksen talteenotto	Kostutus	Puhaltimet
1	50226.0	0.0	63259.0	0.0	0.0	7244.0
2	42665.0	0.0	55653.0	0.0	0.0	6557.0
3	35181.0	0.0	54851.0	0.0	0.0	7301.0
4	15786.0	105.2	40473.0	0.0	0.0	7144.0
5	4675.0	5591.0	23789.0	0.1	0.0	7473.0
6	773.2	14967.0	9444.0	47.2	0.0	7291.0
7	98.7	27688.0	3552.0	28.4	0.0	7565.0
8	469.4	21088.0	7741.0	79.0	0.0	7540.0
9	2208.0	2303.0	19965.0	0.0	0.0	7233.0
10	9854.0	0.0	39118.0	0.0	0.0	7389.0
11	27972.0	0.0	49668.0	0.0	0.0	7080.0
12	43193.0	0.0	59301.0	0.0	0.0	7264.0
<b>Yhteensä</b>	<b>233101.3</b>	<b>71742.2</b>	<b>426814.0</b>	<b>154.6</b>	<b>0.0</b>	<b>87081.0</b>

Edellä esitettyjen esimerkkien pohjalta voidaan laskea energiankulutuksen erotus. Ensimmäisessä tapauksessa lämmityksen, jäähdytyksen ja puhaltimien yhteenlaskettu energiankulutus on 478 221 kWh ja toisessa ratkaisussa 391 924 kWh. Tästä tulee erotukseksi vuodessa 86 297 kWh. Vain pienellä muutoksella voidaan saavuttaa hyviä säästötuloksia talotekniikan osalta. Isossa tehtaassa voi olla 5-10 samanlaista konetta ja näin säästöt kertaantuvat.

## 5 TULOKSET JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyön aiheena oli IDA ICE-olosuhde- ja energiasimulointiohjelman käytettävyyden testaus ja toiminta elintarviketeollisuuskohteessa. Kyseisenlainen kohde poikkeaa tavanomaisesta asuin-, liike- ja tuotantorakennuksista, joten tämä asettaa suunnittelulle ja olosuhteille omia vaatimuksiaan. Tehtaassa on suuria lämpökuormia, joiden laskeminen ja arviointi ovat vaikeaa. Suunnitellut jäähdytystarpeet ja ilmanvaihto perustuvat asianomaisten suunnittelijoiden monien vuosien kokemukseensa ja tuloksiin. Teollisuudessa on myös helposti tapana mitoittaa laitteet varmanpäälle niin, että halutut olosuhteet saavutetaan varmasti. Näitä tietoja sovellettiin opinnäytetyön olosuhde- ja energialaskenta ohjelmaan. Osittain lämpökuormat ja ajankohta jolloin ne esiintyvät perustuvat arvioihin ja olettamuksiin. Edellä mainittu vaikeuttaa simuloitujen tulosten paikkaansa pitävyyden uskottavuutta.

Työhön kuului myös selvittää, kuinka hyvin IDA ICE-ohjelmalla voisi laskea rakennuksen käyttämän energian ja kuinka hyvin prosesseista aiheutuvia lämpökuormia voitaisiin hyödyntää rakennuksen lämmityksessä eli simuloida tilojen lämpötila käyttäytymistä.

Koska rakennus kuuluu käyttötarkoitukseluokkaan 9, tämä tarkoittaa ilmanvaihdon osalta käytettävän suunnitteluarvoja energialaskennassa. Ongelmallisimpia kohtia ovat rakennuksen prosessitilojen ilmanvaihtokoneet. Kesällä ilmaa joudutaan kuivaamaan mutta talvella ilman kuivaamisen tarvetta ei esiinny. Tilanne vaatisi kaksi omaa simuloitumallia, kesäksi ja talveksi. Näiden ilmanvaihtokoneiden arvojen syöttäminen IDA ICE:een todenmukaisilla arvoilla on vaikeaa tai ei onnistu ollenkaan. Ohjelmassa on mahdollisuus aikatauluttaa puhaltimen käyttöaste, mutta tällöin joudutaan itse lukemaan säädataa ja asettamaan puhallinkäytöt karkealla tasolla arvioitujen ulkolämpötilojen mukaan.

Olosuhdesimulointien osalta kiinnostuksen kohteena olivat tuotantotilat, joissa esiintyy lämpökuormia, sekä varastointitilat, joiden lämpötilat ovat  $+4-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  välillä. Kyseisten lämpötilojen saavuttaminen suunnitelluilla ilmavirroilla, lämpökuormilla ja jäähdytystehoilla on tulkinnanvaraista osassa tiloja, koska ohjelmaan ei saada syötettyä ilmastointiprosesseja käytännön tilanteen vaatimalla tavalla. Kuitenkin karsimalla

simuloinnista pois kuivausprosessit saadaan simuloitua esimerkiksi prosessista aiheutuvien lämpökuormien aiheuttama tilojen lämpeneminen. Esimerkkinä pidettiin keittosalia. Kyseisessä tilassa lämpökuormat ovat noin 70 kW ja pinta-ala 700 m<sup>2</sup>. Simulointitulosten perusteella pystyttiin toteamaan suunnitteluratkaisun olevan varsin hyvä saavuttaen halutun lämpötilan, mutta tällöin energiankulutus on kovempi. Lämpökuorma riittää ylläpitämään tilan lämpötilaa. Sisäänpuhallettavan ilman lämpötilaa ja ilmamäärää pystyisi laskemaan alemmas talvella, mutta rajoituksena on, että hygieniä ja kosteusvaatimukset eivät tällöin täyty.

Mielestäni työn suurin ongelmakohta on itse rakennuksen malli. Nykypäivänä monella arkkitehtien käyttämällä mallinnusohjelmalla on mahdollista tuottaa IFC-tiedosto kohteesta. Opinnäytetyön suorituksen aikana kohteesta oli meneillään luonnossuunnitteluvaihe, ja tässä vaiheessa rakennuksen malli elää niin paljon, että sen havaittiin olevan sopimaton IDA ICE ohjelmaan. Rakennuksen malli tehtiin IDA ICE:n omalla mallin luontityökalulla. Tässä tuli ongelmaksi kohteen suuri koko, joka hidasti ohjelman käytettävyyttä. Yksittäisten tilojen muodostaminen ja pelkästään niiden olosuhdesimulointi on toimiva ratkaisu. Kun rakennuksen kolmiulotteinen malli tehdään itse, niin siinä piilee vaarana, että malli ei enää välttämättä vastaa sataprosenttisesti oikeaa mallia. Oman mallin luomisessa tulee olla erittäin huolellinen ja tarkka. Kun kyseessä on iso kohde, niin pienet virheet mallissa hidastavat ohjelman toimintaa ja laskennan nopeus kärsii sekä ohjelma antaa paljon vaikeasti tulkittavia virheraportteja. Tämä laskee simuloitavien tuloksien luotettavuutta. Työn tässä vaiheessa rakennuksen käyttämää kokonaisenergiämäärää ei vielä saatu laskettua, tämä vaatii useiden tilojen mallintamista, koska kyseisten tilojen olosuhteet poikkeavat toisistaan. Tavoitteena on tulevaisuudessa suorittaa energialaskelmat, kun tehtaan suunnitelmat ovat pidemmällä.

Ohjelman heikoimpina puolina voidaan pitää sen hidastuminen suurempien pohjapiirustusten kanssa sekä toiminta isojen IFC-mallien kanssa. Myös itse ohjelman käyttö suuren ja monimutkaisemman simuloitavan mallin kanssa on hidasta. Rajoittavia tekijöitä ovat myös esimerkiksi kyseisen kohteen vaatimat ilmanvaihtovaatimukset.

Ohjelman käyttöä varten löytyvät laajahkot ohjeet englannin kielellä. Ohjeisiin kaipaisi monipuolisia esimerkkimalleja myös vaikeampia simuloitavia tapauksia varten.

Ohjeiden huonona puolena voidaan pitää niiden löytymistä vain englanninkielisenä, mikä voi hidastaa ohjelman edistyneemmän tason käyttöä, mikäli käyttäjän englannin kielitaito ei ole hyvä. Ohjeiden löytäminen suomenkielisenä olisi suotavaa.

Isojen simuloitavien kohteiden kohdalla ohjelman käytettävyys riittää, mikäli kohde ei ole kovin monimutkainen. Isommissa ja monimutkaisissa kohteissa suositeltavaa olisi suorittaa vain muutamien tai yksittäisten tilojen käyttäytymistä esimerkiksi ilmanvaihtoa tai erilaisia rakenne- tai ikkunaratkaisuja vertailtaessa.

Työn tekeminen aloitettiin ohjelmaversiolla 4.4, ja kesken työn suorituksen aikana ohjelmaan tuli päivitys versio 4.5. Uudessa versiossa ohjelman vakaus ja IFC mallien toiminta parani hieman sekä graafinen käytettävyys parani. Mielestäni ohjelmassa tulisi panostaa lisää graafisen puolen käytettävyyteen ja toimivuuteen. Myös toiminta isojen IFC-mallien kanssa tulisi olla paremmin toimivaa.

Teollisuuskohteen tapauksessa suureisiin liittyy aina paljon arvioita ja suunnitelmissa liikutaan karkealla tasolla sekä asioita halutaan helposti mitoittaa ja tehdä varman päälle, niin että prosessin toiminta on varmasti toimivaa ja taattua. Tämä jättää helposti itse rakennuksen energiankäytön optimoimisen pienemmäksi, sillä suurimmat säästöt tehdään helpoiten prosessin käyttämästä energiasta. Rakennuksen massoittelu ja suuntaus ovat myös toissijaisia simuloinnissa, sillä itse prosessi on ensisijaisesti määräävä tekijä rakennuksen muodossa. Myös erilaisten ikkunaratkaisujen tutkiminen tehdastiloissa on toissijaista. IDA ICE simulointiohjelman kohdalla joutuu tekemään yksinkertaistuksia ilmanvaihdon osalta sekä myös itse mallin osalta, ja voidaankin kysyä, missä menee raja asioiden yksinkertaistuksille. Tällöin simuloitu malli ei enää vastaa todellista kohdetta ja tulokset ovat vääristyneitä.

Mielestäni IDA ICE olosuhde- ja energiasimulointiohjelma soveltuu parhaiten perinteisiin asumis-, toimisto- ja liikerakennuksiin, joissa määräävä tekijä on itse ihminen eikä prosessi tai tuote. Edellä mainituissa kohteissa ohjelma toimii hienosti ja käyttäjän on kohtuullisen helppoa vertailla tuloksia. Omakotitalon kohdalla pienet muutokset voivat tuoda merkittäviä säästöjä taikka lisääntyntä asumisviihtyvyyttä pienemmillä kustannuksilla.

Tällä hetkellä simulointiohjelman käyttö ei vielä ole kovin perusteltua tuotantolaitoksissa, joissa pääsääntöisesti tehdään asiat tuotannon prosessien ehdoilla. Myöskään määräykset eivät vielä edellytä simuloiteja tuotantorakennuksille muuten kuin energian laskemisen osalta. D3 vaatii, että energia tulee laskea myös tuotantolaitoksen osalta, mutta sille ei ole minkäänlaista raja-arvovaatimusta sekä laskentaan ei tule sisällyttää erikoistiloja, esimerkiksi laboratoriot. Tämä asettaa kysymyksen tuotantolaitoksen energianlaskennan tarpeellisuudesta.

Tulevaisuuden kannalta tarkoituksena on jatkaa IFC-tiedostomuodon kehittämistä muotoon, jolla sitä voidaan oikeasti hyödyntää IDA ICE simulointiohjelmassa. Tässä piilee idea, että kokonaista mallia voitaisiin simuloida nopeahkosti. Tämä vaatii yhteistyötä arkkitehdin kanssa, mitä hänen tulee ottaa huomioon mallin tekemisessä ja kuinka oikeanlainen IFC-malli energialaskentaohjelman kannalta luodaan. Myös rakennuksen energiankäyttöä tullaan laskemaan suurella todennäköisyydellä enemmissä määrin IDA ICE:llä.

Aloitin työn tekemisen 2012 syksyllä, ja työn idea tuli työnantajaltani RESuunnittelulta. Aikaisempi kokemukseni IDA ICE simulointiohjelmasta oli vain oppilaitoksen puolesta. Alkuvaiheessa työn tekeminen alkoi ohjelman käytön mieleen palauttamisella sekä lisäharjoittelulla. Kohde, josta työn tein, oli mielestäni aloitushetken kokemukselle turhan iso ja laaja sisältäen niin paljon muuttujia, että niitä oli vaikeaa ymmärtää. Myös kohteen luonnossuunnitteluvaiheen valtava muuttuminen oli asia, jota ei vielä ymmärtänyt kokonaisuudessaan ja näin aikaa tuli käytettyä alussa liikaa itse mallien tutkimisiin ja muodostamisiin aina, kun kohde muuttui.

Työn suoritus antoi tärkeää tietoa, kuinka malli tulee muodostaa isomman tehdasrakennuksen kohdalla ja kuinka simuloinnin kanssa tulee toimia. Työ oli myös kokonaisuudessaan opettavainen energiamääräyksien oppimisen kannalta sekä simulointiohjelman hallitsemisen osalta.

Nykyajan jatkuva keskustelu energian säästämisestä, paremmasta energiatehokkuudesta, teki työn aiheen ja suorituksen ajankohtaiseksi sekä antaa hyvää pohjaa omalle kehitykselle.

## LÄHTEET

- [1] Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Matalaenergiarakentaminen. Saarijärven Offset Oy 2010
- [2] Olof Granlund Oy. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, energia analyysit. PDF-dokumentti.
- [3] VTT. Rakennusten lämpöteknisen suunnittelun ja ylläpidon simulointityökalun kehityspäätökset. PDF-dokumentti.  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1943.pdf>. Päivitetty 1999. Luettu 25.10.2012
- [4] Ympäristöministeriö. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki 30.03.2011
- [5] Puuinfo. Tekninen tiedot, energiatehokkuusvaatimukset. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.7.2012. Luettu 30.10.2012
- [6] Ympäristöministeriö. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki 14.03.2012
- [7] Sisäilmatieto. IDA ICE esite. PDF-dokumentti.  
<http://www.sisailmatieto.com/pdf/ice3.0-esite.pdf>. Päivitetty 9.8.2002. Luettu 12.11.2012
- [8] Rakennustieto. Yleiset tietomallivaatimukset 2012, osa 10. Energia-analyysit. PDF-dokumentti.  
<https://www.rakennustieto.fi/ezproxy.mikkeli.ami.fi/kortistot/tuotteet/108739.html.stx>  
 Julkaistu 27.03.2012. Luettu 3.11.2012
- [9] Wikipedia. IFC (Industry Foundation Classes). WWW-dokumentti  
<http://fi.wikipedia.org/wiki/IFC>. Päivitetty 2.10.2012. Luettu 14.11.2012
- [10] Granlund. Riiska ohjelmisto. WWW-dokumentti  
<http://www.granlund.fi/ohjelmistot/riiska/>
- [11] Equa AB & SIY Sisäilmatieto Oy. PDF-dokumentti.  
<http://www.sisailmatieto.com/pdf/IDA-ICE-ohjekirja30.pdf> . Päivitetty 08.2002. Luettu 1.11.2012
- [12] Paroc. Paroc-sandwichelementit. WWW-dokumentti.  
<http://www.paroc.fi/ratkaisut-tuotteet/ratkaisut/sandwichelementit/paroc-sandwichelementit>. Päivitetty 24.08.2012. Luettu 08.11.2012
- [13] Paroc. Suunnitteluohje. PDF-dokumentti.  
<http://www.paroc.fi/~media/Files/Brochures/Finland/Technical-Guide-Paroc-Panels-FI.ashx> Päivitetty 04.2011. Luettu 08.11.2012
- [14] Kurnitski Jarek. Energiamääräykset 2012. Suomen rakennusmedia Oy, Helsinki.



[15] Laine Tuomas. Tuotemallintaminen talotekniikkasuunnittelussa. Tammer-Paino Oy, Tampere 2008.

[16] Sitran selvityksiä 39. Rakennetun ympäristön energiankäyttö ja käsvihuonepäästöt. PDF-dokumentti. [http://era17.fi/wp-content/uploads/2010/10/sitran\\_selvityksia\\_39.pdf](http://era17.fi/wp-content/uploads/2010/10/sitran_selvityksia_39.pdf). Päivitetty 2010. Luettu 09.02.2013

[17] Neste, Air-ix suunnittelu, Ekono. Teollisuusrakennusten ilmastointi ja lämmitys. Valtion painatuskeskus, Helsinki 1990.

[18] Suomen Ympäristö 51/2008. Teollisuuden energiatehokkuus. PDF-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=96740&lan=fi>. Päivitetty 02.02.2010. Luettu 10.02.2013